

TARTU ÜLIKOOL

Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

Kaimar Lomp

**Maksimaalne hapnikutarbimine ja selle muutused
13-15-aastastel lastel**

Maximal oxygen uptake and it's changes on 13-15 year old children

Bakalaureusetöö

Kehalise kasvatuse ja spordi õppekava

Juhendaja:

PhD, P. Purge

Tartu 2017

LÜHENDID

$VO_{2\max}$ - maksimaalne hapniku tarbimine

$VO_{2\max/kg}$ – suhteline maksimaalne hapniku tarbimine

RAE – vanuse relatiivne efekt

KMI – kehamassiindeks

VO_{2peak} - hapniku tipptarbimine

Pa_{\max} - maksimaalne aeroobne võimsus

Ael – anaeroobne lävi

PACER – 20-meetriste lõikude vastupidavus-süstikjooks

$Watt_{\max}$ - kaudse hapnikutarbimise mõõtmise meetod veloergomeetril MONARK 839E

PWC 170 – kehaline töövõime südame löögisagedusel 170 lööki minutis

R - korrelatsioonikordaja

SEE - standardviga

MLR - *multiple linear regression*

SVM - *support vector machine*

MLP - *multilayer perceptron*

SISUKORD

LÜHENDID	2
SISUKORD	3
SISSEJUHATUS	4
1. MAKSIMAALNE HAPNIKUTARBIMINE.....	5
1.1. Maksimaalne hapnikutarbimine kui vastupidavuse näitaja	5
2. MAKSIMAALSE HAPNIKUTARBIMISE MÕÕTMINE	8
2.1. Aeroobse võimekuse mõõtmise meetodid.....	9
2.2. Koormustestid.....	9
2.3. Koormuseta testid	16
2.4. Hübrid testid	17
3. VANUSE RELATIIVNE EFEKT	20
4. KOKKUVÕTE	23
KIRJANDUS	25
SUMMARY	30

SISSEJUHATUS

Eesti Statistikaameti andemetel Eesti rahvaarv aastal 2016 1. jaanuari seisuga on 1 311 800, mis keskel läbi väheneb 1500 inimese võrra igal aastal, millest tulenevalt ka laste arv väheneb igal aastal. Sellest lähtuvalt, sõnastub ka spordisüsteemile probleem: treeningutesse valitavate laste valim väheneb. Lapsi jääb aina vähemaks ja erinevatel spordialadel on üha raskem treeningutele lapsi meelitada ja neid spordiala juures hoida. Enim tekib probleem, kui lapsed jõuavad murdeikka. Murdeeaks peetakse 12.-15. eluaastat. Kuna murdeas toimuvad noore kehas kiired muutused kehaehituses, füsioloogias ja psüühikas, siis sel ajal on lapsi veelgi raskem sobiva spordiala juurde suunata. Seega saab treeneritel olema raske leida oma spordialale vajalike eeldustega lapsi, kes samas väga motiveeritult tahavad spordiga tegeleda ning on seadnud omaale kõrged sihid.

Selleks et teada saada lapse võimekus ja sooritusvõime on loodud palju tervise ja töövõime teste ja –uuringuid, mis peaksid andma aimu sellest, kas lapsel on eeldused pigem jõu-, kiirus- või vastupidavusalade peale spetsialiseerumiseks. Väga levinud viisiks on saanud maksimaalse hapniku tarbimise mõõtmine, mis eelkõige puudutab valikut vastupidavusaladel.

Igasugused tervise ja töövõime testid ja –uuringud on küll head, aga nende puhul tuleb arvestada, et enamasti nende koostamise ja uuringu aluseks on olnud täiskasvanud inimene, kelle kehas ei toimu enam nii järske muutusi kui murdeas noorel. Lisaks ei ole nende koostamisel arvestatud ka murdeas muutuste, nende toimumise kiirusega ja sellega, et igal lapsel hakkab puberteet erineval ajal, mis samas aga mõjutab testi tulemusi.

Konkreetselt, kirjanduslikule analüüsile toetuva töö eesmärk on anda põhjalikum ülevaade:

- laialdaselt levinud maksimaalse hapnikutarbimise testidest;
- vanuse relatiivsest efektist, mis mõjutab nii noorte sportlikku kui ka vaimse võimekuse arengut.

Märksõnad: maksimaalne hapnikutarbimine (*maximum oxygen uptake*), VO_{2max} , mõõtmise ja prognoosimise meetodid (*measuring and prediction models*), vanuse relatiivne efekt (*Relative Age Effect*), RAE.

1. MAKSIMAALNE HAPNIKUTARBIMINE

1.1. Maksimaalne hapnikutarbimine kui vastupidavuse näitaja

Maksimaalne hapnikutarbimine (VO_{2max}) näitab maksimaalset hapniku hulka (liitrit minutis; l/min), mida organism on pingelisel lihastööl võimeline omastama. Umbes 70% VO_{2max} energiast toodetakse ilma laktaadi kui laguprodukti formatsioonita. Kuna VO_{2max} sõltub palju keha massi suurusest – mida suuremat kasvu on inimene, seda suurem on üldiselt ka tema VO_{2max} , siis sportliku saavutusvõime iseloomustamiseks kasutatakse üldiselt VO_{2max} näitajaid sportlase kehamassi suhtes, suhteline maksimaalne hapniku tarbimine ($VO_{2max/kg}$) väljendatuna kilogrammi keha massi kohta (ml/min/kg) (Jürimäe & Mäestu, 2011). Osadel spordialadel, eriti sellistel, kus keha mass on toetatud ning töö intensiivsus suhteliselt kõrge, võivad just absoluutsed VO_{2max} väärtused olla informatiivsemad sportlase töövõime iseloomustamisel. Sellised alad on näiteks akadeemiline sõudmine, aerutamine, tempo- ja trekisõit jalgrattal jne. Erinevate spordialade esindajatel on erinevad VO_{2max} väärtused (Tabel 1) ning suurimad $VO_{2max/kg}$ väärtused on leitud maratoonaritel ja murdmaasuusatajatel (Wilmore ja Costill, 2005).

Tabelist 1 on on välja toodud erinevused mittesportlaste ja sportlaste vahel. Pea kõikide spordialade harrastajatel on $VO_{2max/kg}$ kõrgem kui mittesportlasel, alates just sellelt tasemelt, kus mittesportlasel on $VO_{2max/kg}$ lagi 35-45 ml/min/kg. Seega ükskõik, mis spordialaga tegelemine on igal juhul nii lapsele kui täiskasvanule kasulik (Tancredi et al., 2016) kehaline aktiivsus.

Hagan et al. (1981) leidsid, et $VO_{2max/kg}$ määrab 73% ulatuses sportlaste, kelle aeg maratonil oli 2.19-3.50, maratonijooksu võistlustulemust. Samas Billat et al. (2001), uurides väga kõrge klassiga maratoonareid (maratoni tulemus keskmisel 2.12 meestel ja 2.30 naistel), leidsid, et $VO_{2max/kg}$ ei olnud seotud maratonijooksu tulemusega. Sarnaste tulemusteni, et VO_{2max} näitaja põhjal ei ole võimalik eristada kõrge tasemega sportlasi, on jõutud ka paljudel teistel spordialadel.

Samas on VO_{2max} määramine siiski oluline näitaja aeroobse töövõime määramisel, kuna iseloomustab sportlase vastupidavuse taset. Väga hea vastupidavuse tasemega sportlased suudavad võistlustel VO_{2max} tasemel pingutada 45-60 min. Kui $VO_{2max/kg}$ näitaja on üle 70 ml/min/kg, on sportlasel head eeldused võistlemiseks vastupidavusaladel, alla 60 ml/min/kg puhul on aga väga väike võimalus rahvusvahelises konkurentsisis läbi lüüa (Weineck & Jalak, 2008).

Tabel 1. Maksimaalse hapnikutarbimise väärtused sportlastel ja mittesportlastel (Wilmore ja Costill, 2005).

Spordiala	Vanus	Mehed ml/min/kg	Naised (ml/min/kg)
Mittesportlased	10-19	47-56	38-46
	20-29	43-52	33-42
	30-39	39-48	30-38
	40-49	36-44	26-35
	50-59	34-41	24-33
	60-69	31-38	22-30
	70-79	28-35	20-27
Pesapall	18-32	48-56	52-57
Korvpall	18-30	40-60	43-60
Jalgrattasõit	18-26	62-74	47-57
Kanuusõit	22-28	55-67	48-52
Ameerika jalgpall	20-36	42-60	-
Sportvõimlemine	18-22	52-58	36-50
Jäähoki	10-30	50-63	-
Orienteerumine	20-60	47-53	46-60
Sõudmine	20-35	60-72	58-65
Mäesuusatamine	18-30	57-68	50-55
Murdmaasuusatamine	20-28	65-94	60-75
Suusahüpped	18-24	58-63	-
Jalgpall	22-28	54-64	50-60
Kiiruisutamine	18-24	56-73	44-55
Ujumine	10-25	50-70	40-60
Jooksmine	18-39	60-85	50-75
	40-75	40-60	35-60
Kettaheide	22-30	42-55	-
Kuulitõuge	22-30	40-60	-
Võrkpall	18-22	-	40-56
Jõutõstmine	20-30	38-52	-
Maadlus	20-30	52-65	-

Sarnaseid numbreid kinnitab ka tabelis 1 välja toodud murdmaasuusatajate ja jooksjate vastavad näidud. Samuti on näha, et jooksjate ja suusatajate $VO_{2max/kg}$ näitajad on tulenevalt madalast kehakaalust võrreldes teiste spordialadega oluliselt kõrgemad.

VO_{2max} on umbes 40-50% ulatuses geneetiliselt määratud ning limiteeritud mitmesuguste füsioloogiliste parameetritega, nagu südamelöögisagedus, südamelöögimaht, vere hemoglobiinisaldus, mitokondrite hulk töötavas lihases (Rankinen et al., 2006).

Lisaks Rankineni (2006) väljatoodud parameetritele leidsid Jürimäe ja Mäestu (2011) et VO_{2max} näitaja on füsioloogiliselt veel seotud väga erinevate faktoritega nagu:

- aeglaste lihaskiudude kõrge protsent;
- südameveresoonkonna suur võimekus;
- hingamisaparaadi suur võimekus;
- võime säilitada organismis suuremal hulgal maksa ja lihase glükogeeni;
- võime eraldada efektiivselt soojust.

Vastupidavuslike treeningutega kaasneb VO_{2max} näitaja suurenemine. On leitud, et treenimata indiviididel võib VO_{2max} suureneda esimese kolme kuu jooksul 15-30% ning kuni 50% esimese kahe aastaga regulaarse treenimisega. Ilma treenimiseta areneb VO_{2max} naistel umbes 15.-16. eluaastani ning meestel 18.-19. eluaastani. Keskmiselt alates 20-24-aastaselt hakkab VO_{2max} langema (Rowland, 2005). Sarnast trendi võib märgata ka tabelist 1. Treeningutega on langust $VO_{2max/kg}$ näitajas võimalik oluliselt edasi nihutada. Lepers (2011) leidis viimase 25 aasta Hawaii Ironmani tulemusi ja osalejaid uurides, et 35.-40. eluaastani võistluse lõppaeg sportlastel säilib, seejärel hakkab 50. aastast mõõdukalt langema ning kõige suurem tagasimineku füüsilises võimekuses toimub triatleetidel alles peale 70. eluaastat.

Tuleb siiski märkida, et VO_{2max} on küll väga oluline füsioloogiline eeldus vastupidavuse arendamiseks, kuid see ei pruugi alati olla otseselt seotud spordialaspetsiifilise töövõimega. See tähendab, et VO_{2max} ei pruugi alati olla kõige täpsem ja universaalsem näitaja võrdlemaks erinevas kaalus, vanuses, soos ega ka spordialal inimesi.

2. MAKSIMAALSE HAPNIKUTARBIMISE MÕÕTMINE

VO_{2max} loetakse üheks peamiseks füsioloogiliseks eelduseks, et esineda edukalt erinevatel vastupidavusspordialadel, seepärast on ka selle testimine rutiinne osa sportlase kehalise töövõime määramisel. VO_{2max} mõõdetakse valdavalt kasvavate koormustega testil kuni suutlikuseni, kasutades gaasianalüsaatorit. Testi protokoll valimisel tuleb kindlasti arvestada ka sportlase eripärasid (Sartor et al., 2013).

VO_{2max} testi puhul on tegemist maksimaalse pingutuse lähedase soorituse mõõtmisega, mis omakorda eeldab väga kõrget sportlase motiveerituse taset (Grant et al., 1995). Lastel nimetatakse maksimaalset hapnikutarbimist hapniku tipptarbimiseks (VO_{2peak}). VO_{2peak} on ajahetkel saavutatud hapnikutarbimise kõrgeim väärtus, mida aga ei saa pidada maksimaalseks tulemuseks, sest laste puhul ei ole tihti võimalik ega eetiline maksimaalset pingutust nõuda (Harro, 2001). Seepärast on arendatud väga lai valik erinevaid maksimaalset sooritust mõõtvaid protokolle, et vähendada riske, läbiviimise aega, kulude ja sooritust tegeva inimese motiveeritusest sõltumist kurnaval kontrollil (Noonan & Dean, 2000).

VO_{2peak} saavutamist saab kontrollida järgnevate kriteeriumite saavutamisega (Harro, 2001):

- hapnikutarbimise juurdekasv on <2.0 ml/kg/min, kuigi intensiivsus suureneb samal ajal 5-10% võrra;
- südame löögisagedus on >195 lööki minutis;
- respiratoorse ekvivalendi suhe $VCO_2 / VO_2 >1.0$;
- vere laktaadisisaldus >6 mmol/l;
- ilmneb subjektiivne väsimus ja suutmatus testi jätkata;
- ilmneb higistamine, tugev hingeldamine, näo värvumine punaseks.

Viimase 10 aasta jooksul on VO_{2max} ja VO_{2peak} määramiseks kasutusele võetud protokollide arv kasvanud (Tabel 2, 3, 4). Suurelt on see tulenenud tehnoloogia arengust. Samas gaasianalüsaatorit kasutavate uuringute lahenduskäike on püütud lihtsustada. Protokollide juurdekasv on olnud kiire ja paranenud on ka nende tulemuste täpsus. Paraku on kogu selle arengu puuduseks juhendmaterjali puudumine, mis aitaks määrata, missugust protokollit teatud olukorras või sportlasel kasutada, selleks et saada täpsem ja usaldusväärsem tulemus (Evans et al., 2015).

2.1. Aeroobse võimekuse mõõtmise meetodid

Aeroobset võimekust iseloomustavad neli komponenti (Harro, 2001):

- maksimaalne aeroobne võimsus (Pa_{max}) ehk maksimaalne hapnikutarbimine ehk hapnikulagi (VO_{2max});
- mehhaaniline efektiivsus ehk aeroobsete energieetiliste protsesside ökonoomsus;
- anaeroobne lävi (AeL), mida tinglikult nimetatakse aeroobse vastupidavuse näitajaks;
- aeroobne mahtuvus.

Kõiki aeroobse võimekuse komponente saab mõõta maksimaalse koormustesti käigus. VO_{2max} saab mõõta otseselt, kogudes ja analüüsides väljahingatavat õhku maksimaalse koormustesti ajal ja kaudselt, arvutades hapnikutarbimise väärtuse südame löögisageduse dünaamika, tehtud töö hulga ja aja, jooksukiiruse või läbitud maa alusel. Koormustest viiakse tavaliselt läbi kas veloergomeetril või jooksulindil (Harro, 2001).

Evans et al. (2015) töötasid läbi 200 täismahus artiklit VO_{2max} uurimustest aastast 1976-2013, millest omakorda valiti välja vaid 19, oma teadustöö koostamiseks. Käesolevas töös on välja toodud tabelid erinevatest töövõime testide protokollidest jooksulindil (Tabel 2), jalgrattal (Tabel 3) ja teistel kasutatavatel spetsiifilistel vahenditel (Tabel 4) ja nendes kasutatud koormustest, uuritavatest.

Hoolimata sellest, et maksimaalse koormustesti käigus saadud VO_{2max} näitu peetakse kõige täpsemaks, on meetodil siiski teatud piirangud ja see on omakorda viinud alternatiivsete meetodite tekkimiseni. Suuremas osas jaotatakse testid kolmeks (Abut & Akay, 2015) :

- koormustestid;
- koormuseta testid ja;
- hübriid testid.

2.2. Koormustestid

Koormustestid omakorda jagunevad veel maksimaalseteks ja submaksimaalseteks koormustestideks. Maksimaalsed koormustestid on riskantsed, kuna kontrollitava sooritus lõpeb kuni saavutatakse südamelöögisageduse järgi maksimaalne kurnatus. Lisaks ka kulukad, kuna vajavad kallist gaasianalüsaator, ventileerimisvahendeid ja pidevat meditsiinispetsialisti juuresolekut. Submaksimaalsed koormustestid prognoosivad VO_{2max} kaudselt, kasutades maksimumi lähedase koormusega sooritatud testil saadud tulemusi.

Tabel 2. Erinevad jooksulindil kasutatavad koormustestid VO_{2max} määramiseks (Evans et al., 2015).

Uuring	N	Uuritav	Keskmine vanus/sugu	Ergomeeter	Protokoll
Eston et al. (2012)	75	A S	40.7/M ja N 33.4/M ja N	Jooksulint	3 min koormustsükli RPE tasemel 9, 11, 13 ja 15 (A) esmane koormus 9.0 km/h gradient 1%, kiirust suurendati 1 km/h iga 3 min järel kuni kurnatuseni (S) esmane koormus 5.3 km/h gradient 0%, gradienti suurendati 1% iga 1 minut järel kuni kurnatuseni
Morris et al. (2010)	18	H	21.7/M ja N	Jooksulint	3 min tajutava koormusega tsükli, RPE tasemel 9, 11, 13 ja 15, 3 min aega tasemel kohanemiseks
Coleman (1976)	15	H	22.67/M	Jooksulint	5 min koormust kiirus 3 MPH gradient 0 %, seejärel 5 min 4 MPH gradient 0 %, seejärel 5 min 4 MPH gradient 4 % ja sealt edasi kiirs hoiti sama ning suurendati gradienti 4 % iga 5 min tagant kuni HR 160 l/min
Macswen (2001)	25	H	28.6/M ja N	Jooksulint	Modifitseeritud Bruce jooksulindi protokoll, kus esmane koormus 3 min kiirusega 2.74 km/h gradiendiga 0 %
Evans et al. (2013)	16	S (trn)	40.1/M ja N	Jooksulint	3 min tajutava koormusega tsükli, RPE tasemel 9, 11, 13 ja 15
Ladyga ja Faff (2005)	10 52	S (kont) FA	25.0/M ja N 30-67	Jalgratas	Esmene koormus 50 W, 55 RPM, suurendati 50 W ja 5 RPM kaupa iga minut kuni 4 minutini

A, aktiivne eluviis; S, istuv eluviis lühend, trn, treenib; kont, kontroll grupp; RPE, testitava oma hinnang tajutavale pingutusele; M, mees; N, naine; H, hea tervisega; FA, endised tippsportlased, MPH, miili tunnis; RPM, pööret minutis.

Tabel 3. Erinevad jalgrattal kasutatavad koormustestid VO_{2max} määramiseks (Evans et al., 2015).

Uuring	N	Uuritav	Keskmine vanus/sugu	Ergomeeter	Protokoll
Morris et al. (2009)	23	H	31/M ja N	Jalgratas	3 min koormustsüklid RPE tasemel 9, 11, 13, 15 ja 17, rakendatud suvaliselt, kuni 3 min aega kohaneda igal koormusel, 3 min taastumiseks RPE tasemete vahel; Teisel korral lühendati koormustsüklid 2 min peale, muud ajad jäid samaks
Eston et al. (2008)	13	S	38.4/M	Jalgratas	3 min koormustsüklid RPE tasemel 9, 11, 13, 15 ja 17, 1-2 min aega kohaneda igal koormusel
Coquart et al. (2009)	43	O	50.5/N	Jalgratas	Esmane koormus 10 W 1 min jooksul, 10 W suurendati iga 1 min järel kuni tahtliku kurnatuseni
Grant et al. (1995)	22	H	22.1/M	Jalgratas	Kolm 5 min koormustsükli, esmane HR 100 l/min, järgmised kaks 120-140 l/min ja 150-170 l/min
Coquart et al. (2012)	12	CC	23.3/M	Jalgratas	1) vahelduvad 4 min koormustsüklid, 8 min passivset taastumist. Koormusastmed 150, 200, 250 ja 300 W suvalises järjestuses. 2) Esmane koormus 150 W 4 min, suurendati iga 4 min järel 50 W kuni 300 W, seejärel 25 W võrra iga 2 min järel
Lambrick et al. (2009)	11	LF	31.5/N	Jalgratas	Esmane koormus 0 W 2 min 60 RPM, seejärel tõusis iga 4 sek järel 1 W kuni kurnatuseni
Eston et al. (2006)	19	A	21.6/M 21.4/N	Jalgratas	1) 2 min tajutavad koormustsüklid RPE tasemel 9, 11, 13, 15 ja 17, 3 min aega kohanemiseks tasemel 2) 4 min tajutavad koormustsüklid RPE tasemel 9, 11, 13, 15 ja 17, 3 min aega kohanemiseks tasemel
Faulkner et al. (2007)	45	A	30.7/M 31.9/N	Jalgratas	3 min tajutava koormusega tsüklid, RPE tasemel 9, 11, 13, 15 ja 17, 2 min aega tasemel kohanemiseks
		S	28.1/M 34.8/N		
Eston et al. (2005)	10	H	23.6/M	Jalgratas	4 min tajutava koormusega tsüklid, RPE tasemel 9, 11, 13, 15 ja 17, 3 min aega tasemel kohanemiseks

A, aktiivne eluviis; S, istuv eluviis; RPE, testitava oma hinnang tajutavale pingutusele; M, mees; N, naine; H, hea tervisega; O, ülekaaluline; CC, profijalgrattur; LF, kehas füüsilises vormis; RPM, pööret minutis.

Tabel 4. Erinevatel spetsiifilistel seadmetel kasutatavad koormustestid VO_{2max} määramiseks (Evans et al., 2015).

Uuring	N	Uuritav	Keskmine vanus/sugu	Ergomeeter	Protokoll
Klusiewicz ja Starczewska-Czapowska (2011)	29	LS MS	22.3/M	Suusk	(M) esmane koormus 1.0 W/kg, suurendati 0.6 W/kg iga 3 min tagant, 1 min intervalliga kurnatuseni (N) esmane koormus 0.8 W/kg, suurendati 0.4 W/kg iga 3 min tagant, 1 min intervalliga kurnatuseni
Fitchett (1985)	12	H	32.07/M	Stepper	Viis 1 min koormustsükli, koormusel $HR \pm 10$ l/min lähedane 83% HR_{max} , tuletatud vanusegrupile Åstrand ja Rodahli 1977 uuringu järgi
Al-Rahamneh ja Eston (2011)	13	H	27.2/M	Käsi	1) Esmane koormus 0 W, 60 RPM, suurendati 15 W iga minuti järel kuni tahtliku kurnatuseni 2) Esmane koormus 30 W, 60 RPM, suurendati 15 W iga 2 min järel kuni tahtliku kurnatuseni
Al-Rahamneh et al. (2011)	16	H	20.3/M 20.8/N	Käsi	Esmane koormus 0 W, 50 RPM, suurendati 15 W iga minuti järel meestel ja 6 W naistel, kuni tahtliku kurnatuseni

LS, laskesuusataja; MS, murdmaasuustaja; M, mees; N, naine; H, hea tervisega; HR_{max} , maksimaalne südamelöögisagedus.

See tähendab, et vaja ei ole spetsiaalseid laboratoorseid vahendeid, testi läbiviija treening on lühem ja koormuse intensiivsus on enamusele osalejatele võimetekohane (Abut & Akay, 2015).

Jürimäe ja Mäestu (2011) järgi võib koormustestid jaotada veel koormuse iseloomust sõltuvalt:

- kasvavate koormustega testideks
- konstantse koormusega testideks.

Erinevate VO_{2max} mõõtvate ja prognoosivate testide ning protokollide paremaks võrdlemiseks tõid Abut ja Akay (2015) välja kaks väärtust: R (korrelatsioonikordaja) ja SEE (standardviga), mille alusel erinevate uurimuste tulemusi omavahel võrrelda (Tabel 5, 6, 7 ja 8). Vastavad väärtused on nende väitel ka kõige populaarsemad ja enim kasutatud mõõdikud spordifüsioloogia valdkonnas. Tabelis 5 on seega välja toodud võrdlus viimastel aastatel läbi viidud uuringutest, kus kasutati VO_{2max} töövõime hindamisel.

Tabelit 5 põhjalikumalt analüüsid, ei saa väita, et ükski muutuja põhjustaks hinnangulise standardvea suurenemist või vähenemist. Ei saa ka väita, et vähemate muutujute korral oleks hinnanguline standardviga väiksem või korrelatsiooni koefitsient parem (Tabel 5).

Tabel 5. Teaduslikud uuringud, kus arendati ja uuriti maksimaalse hapnikutarbimise meetodeid (Abut ja Akay, 2015).

Uuring	Aasta	Meetod	Muutujad	R	SEE (ml/min/kg)
Chatterjee et al	2010	MLR	Kiirus	0.94	0.53
Bandyopadhyay	2011	MLR	Vanus, pikkus, kehakaal, kiirus	0.93	1.38
Akay et al	2012	SVM	Sugu, vanus, KMI, BF%, RER, RPE, HR _{max} , aeg	0.92	4.09
Akay et al	2012	MLR	Sugu, vanus, KMI, BF%, RER, RPE, HR _{max} , aeg	0.81	4.54
Silva et al	2012	MLP	Sugu, vanus, pikkus, kehakaal, KMI, SR stage	0.79	5.60
Daros et al	2012	MLR	Distants (m)	0.76	4.29
Veronese da Costa et al	2013	MLR	Kehakaal, NLP, AHR	0.76	7.21
Aktürk ja Akay	2014	MLP kombineeritud Relief-F	Sugu, vanus, KMI, HR _{max} , RER, klass	0.86	4.63
Akay et al	2014	SVM kombineeritud Relief-F	Sugu, vanus, KMI, HR _{max} , aeg	0.90	4.58

VO_{2max}, maksimaalne hapniku tarbimine; SEE, hinnangu standardviga; MLR, multiple linear regression; KMI, kehamassiindeks; PACER, 20-meetriste lõikude vastupidavus-süstikjooks; SVM, support vector machine; BF%, keharasva protsent; RER, gaasivahetuse suhe jooksulindi testil; RPE, testitava oma hinnang tajutavale pingtusele jooksulindil; HR_{max}, maksimaalne südamelöögisagedus; MLP, multilayer perceptron; GRNN, general regression neural network; SR stage, süstikjooksu aste; NLP, läbitud ringide number; AHR, südamelöögisagedus pärast pingutust; Pr, protokoll.

Koormusega testide puhul on laialdaselt kasutamist leidnud kolm testi:

- maksimaalne koormustest veloergomeetril või jooksulindil koos gaasianalüsaatoriga;
- Watt_{max}-test;
- 20-meetriste lõikude vastupidavus-süstikjooks ehk PACER.

Esimene neist on Abut ja Akay (2015) uuringu järgi kõige kulukam, mistõttu seda suure valimiga uuringutes tihti ei kasutata. Tegemist on otsese meetodiga VO_{2max} mõõtmiseks. Testi kõrge kulukus, võib küll tagada täpsed andmed, aga tulemused sõltuvad muuhulgas ka testi aparatuurist. Basset ja Boulay (2000) leidsid, et veloergomeetri kasutamisel on maksimaalse hapnikutarbimise väärtused ligi 29% väiksemad kui jooksulindi kasutamisel. Seda põhjusel, et veloergomeetril on keha toestatud ning töösse on haaratud vähem lihaseid. Samas võiksid testid olla igale sportlasele võimalikult ligilähedased tema poolt harrastava spordialaga.

Watt_{max}-testi puhul on tegemist kaudse hapnikutarbimise mõõtmise meetodiga, mis nõuab väiksemaid kulusi kui otsene meetod, aga eeldab jätkuvalt läbiviimist laboritingimustes, kuna koormusega test sooritatakse veloergomeetril MONARK 839E. Test mõõdab maksimaalset töövõimet maksimaalse hapnikutarbimise ajal (Harro, 2001). Selle töö raames kättesaadud ja läbitöötatud uuringute põhjal täheldasin, et konkreetset testi viimase 10 aasta jooksul väga tihedalt enam kasutatud ei ole.

Kooliealiste laste puhul on osutunud kõige sobilikumaks 20-meetriste lõikude vastupidavus-süstikjooks ehk PACER või selle variatsioonid (Chatterjee et al., 2010; Bandyopadhyay, 2011; Akay et al., 2012; Silva et al., 2012). Suurim puudus on sobimatus 10-aastastele lastele (Harro, 2001). Test võimaldab aga uuringut läbi viia vaid spordisaalis või mänguväljakul ning paljudele lastele korraga, mis on teiste meetodite ees suur eelis, kuna iga sooritaja vajab vaid 1 meetri laiust jooksuriba. Saadud tulemustest leitakse protokollil abil VO_{2max} näidud (Chatterjee et al., 2010; Bandyopadhyay, 2011; Akay et al., 2012; Silva et al., 2012).

Kuna Watt_{max}-testi ja 20-meetriste lõikude vastupidavus-süstikjooksu puhul on tegemist kaudsete meetoditega, kus maksimaalse hapnikutarbimise saamiseks, kasutatakse erinevaid protokolle, siis on tihti peale tegu ka submaksimaalsete koormustestidega. Nendele kahele lisaks on kasutamist leidnud veel järgnevaid submaksimaalsel koormusel teste või nende variatsioone:

- 1000 m jooks (Nõmmiste, 1996);
- kolme minuti vastupidavusjooks/kõnd (Cao et al., 2013);
- ühe milli (1609,35 m) kõnd/jooks (Kalish, 1996; Acikkar et al., 2012);
- Cooperi 12-minuti jooks (Bandyopadhyay, 2015);
- PWC 170 (kehaline töövõime südame löögisagedusel 170 lööki minutis) (Nikolaidis, 2015; Harro. 2001).

Tabelis 6 on välja toodud viimaste aastate jooksul läbiviidud submaksimaalse hapnikutarbimise meetodil põhinevate VO_{2max} testide ja protokollide võrdlused. Sarnaselt tabelile 5, ei saa ka nende andmete põhjal väita, et mõni konkreetne muutuja üksi põhjustaks hinnangulise standardvea (SEE) suurenemist või vähenemist.

Tabel 6. Viimased teaduslikud uuringud, kus arendati ja uuriti submaksimaalse hapnikutarbimise meetodeid (Abut ja Akay, 2015).

Uuring	Aasta	Meetod	Muutujad	R	SEE (ml/min/kg)
Coquart et al	2010	MLR	Vanus, võimsus	0.81	0.16
Akay et al	2011	MLP	Sugu, vanus, kehakaal, HR, sörkjooksu kiirus	0.95	1.80
Acikkar et al	2012	MLP	Sugu, vanus, KMI, MIN3, HR3	0.89	2.22
Billinger et al	2012	MLR	Sugu, vanus, kehakaal, WR, HR	0.91	4.09
Cao et al	2013	MLR	Sugu, vanus, 3MWD, BF%	0.83	4.57
Akay et al	2014	MLP	Sugu, vanus, pikkus, kehakaal, MIN3, HR3	0.85	3.13
Akay et al	2014	MLR	Sugu, vanus, pikkus, kehakaal, MIN3, HR3	0.83	3.25

VO_{2max}, maksimaalne hapniku tarbimine; SEE, hinnangu standardviga; MLR, multiple linear regression; MLP, multilayer perceptron; HR, südamelöögisagedus; KMI, kehamassiindeks; MIN3, 1.5 miili läbimise aeg; HR3, südamelöögisagedus peale 1.5 miili läbimist; WR, koormus; AD, kiirendusmõõduri näit; 3MWD, 3 minuti jalutamise distant; BF%, keharasva protsent; SVM, support vector machine.

2.3. Koormuseta testid

Koormuseta testid võimaldavad prognoosida maksimaalset hapniku tarbimist ilma maksimaalset või submaksimaalset sooritust tegemata. Teadlased võivad eelistada koormuseta testi rakendamist selle lihtsuse, madalate kulude, spetsiaalsest laboratooriumist sõltumatus ja suurema valimi kasutamise võimaluse tõttu. Testi suurimaks puuduseks loetakse eeldust, et katsealune vastab küsimustikule ausalt. Testi ei ole võimalik rakendada, kui uuritaval on isiklik huvi tulemuse suhtes ja põhjust valetada oma aktiivsuse kohta (Chatterjee et al., 2010).

Bradshaw (2003) ja Akay et al. (2015) järgi koosneb koormuseta test kolmest küsimustikust, kus esimene osa (*Physical Activity Readiness*) keskendub uuritava tervislikule seisundile ja antropoloogilistele näitajatele nagu sugu, vanus, pikkus, kehakaal, kehamassiindeks jne. Küsimustiku teine osa (*Perceived Functional Ability*) selgitab välja, kuidas uuritav tajub ise oma koormuse taluvust kahe astmeliselt (1 miil ja 3 miili) ning viimane osa, missugune on olnud igapäevane füüsiline aktiivsus viimase 6 kuu jooksul (*Physical Activity Rating*).

Tabelis 7 on välja toodud ülevaade viimaste aastate jooksul läbiviidud maksimaalse hapnikutarbimise koormuseta katse meetodil põhinevate VO_{2max} testide ja protokollide võrdlemisest.

Tabel 7. Viimased teaduslikud uuringud, kus arendati ja uuriti maksimaalse hapnikutarbimise koormuseta katse meetodeid (Abut ja Akay, 2015) .

Uuring	Aasta	Meetod	Muutujad	R	SEE (ml/min/kg)
Akay et al	2009	SVM	Sugu, vanus, KMI, PFA, PAR	0.93	3.41
Cao et al	2010	MLR	Vanus, KMI, SC, VPA	0.85	3.90
Schembre ja Riebe	2011	MLR	Sugu, VPA	0.63	5.45
Jang et al	2012	MLR	Sugu, vanus, KMI, suitsetamine, LPA, WPA	0.88	3.36
Akay et al	2014	MLP	Sugu, vanus, KMI, BF%, LBM, AC	0.87	5.00
Akay et al	2014	MLR	Sugu, vanus, KMI, BF%, AC	0.84	5.12

VO_{2max}, maksimaalne hapniku tarbimine; SEE, hinnangu standardviga; SVM, support vector machine; KMI, kehamassiindeks; PFA, tajutav funktsionaalne võimekus; PAR, testitava hinnang oma füüsilise aktiivsuse kohta; MLP, multilayer perceptron; MLR, multiple linear regression; SC, sammude arv; VPA, suur kehaline aktiivsus; LPA, vabaaja kehaline aktiivsus; WPA, tööga seotud kehaline aktiivsus; BSA, keha pindala; BF%, keharasva protsent; AC, tegevus režiim; LBM, rasvavaba mass.

2.4. Hübriid testid

Hübriid testides kombineeritakse omavahel submaksimaalsel või maksimaalsel koormusel veloergomeetri või jooksulindi saadud tulemusi koormuseta testi küsimustik-vastustega. Paljude uuringute puhul kasutatakse erisuguseid kombinatsioone nii küsimustiku kui ka submaksimaalse koormus testi meetodi näol. Hübriid testid sobivad rohkem uuringutele, kus valim on suur, aga ajaliselt läbi viimiseks veel sobiv veloergomeetril või liikurajal sooritamiseks, ilma et uuritava testide sooritamise vaheline aeg väga pikaks veniks. Lisaks aitab kahe testi omavaheline kombineerimine hinnata uuringu õnnestumist ja saadud tulemuste valiidsust (Akay ja Abut, 2015).

Tabelis 8 on välja toodud viimaste aastate jooksul läbiviidud maksimaalse hapnikutarbimise hübriid katse meetodil põhinevate VO_{2max} testide ja protokollide arendused, koos välja toodud mitmekordse korrelatsiooni koefitsendi ja hinnangu standardveaga.

Tabel 8. Viimased teaduslikud uuringud, kus arendati ja uuriti maksimaalse hapnikutarbimise hübriid katse meetodeid (Abut ja Akay, 2015).

Uuring	Aasta	Meetod	Muutujad	R	SEE (ml/min/kg)
Nielson et al	2010	MLR	Sugu, kehakaal, HR, WR, PFA	0.90	3.36
Akay et al	2010	MLP	Sugu, vanus, KMI, PAR, HR, stage	0.96	2.01
Akay et al	2011	MLP	Sugu, vanus, KMI, HRmax, PFA, PAR	0.94	2.23
Aky et al	2011	MLR	Sugu, vanus, KMI, grade, PFA, PAR	0.85	3.73
Yücel et al	2013	MLP	Sugu, vanus, KMI, MPH, PAR; PFA	0.93	3.15
Yücel et al	2013	MLR	Sugu, vanus, KMI, MPH, PAR, PFA	0.92	3.27
Akay et al	2014	SVM	Sugu, vanus, kehakaal, pikkus, ES, PFA-1, PAR	0.93	3.25
Akay et al	2014	MLP	Sugu, vanus, kehakaal, pikkus, ES, PFA-1, PAR	0.87	4.20

VO_{2max}, maksimaalne hapniku tarbimine; SEE, hinnangu standardviga; MLR, multiple linear regression; HR, südame löögisagedus; WR, koormus; PFA, tajutav funktsionaalne võimekus; MLP, multilayer perceptron; KMI, kehamassiindeks; PAR, testitava hinnang oma füüsilise aktiivsuse kohta; HR_{max}, maksimaalne südame löögisagedus; MPH, miili tunnis; SVM, support vector machine; ES, lõpetamise kiirus; PFA-1, PFA distantil 1 miil.

Uuringud on näidanud, et peale pikkuse, kehakaalu ja füüsilise vormi on väga olulised näitajad ka vanus ja sugu, mis mõjutavad hapnikutarbimise parameetreid (Schneider, 2013). Uuringud, kus tuuakse välja normatiivid erinevate testide läbiviimisel, põhinevad enamasti suhteliselt väikesel valimil täiskasvanutel ning nende referentsväärtused maksimaalse hapnikutarbimise kohta sõltuvad tihti peale uuritavast meetodist ja on seetõttu ka varieeruvad (Schneider, 2013).

Tabelites 5, 6, 7 ja 8 kajastatud R (korrelatsioonikordaja) ja SEE (standardviga) väärtuste lähemal vaatamisel ja võrdlemisel peab teadma, mida need näitavad. R iseloomustab uuritavate muutujate vahelise seose tugevust uuringus saadud VO_{2max} väärtusega. Mida lähemal on R väärtus ühele, seda tugevam on muutujate ja tulemuse vaheline seos. SEE puhul, mida väiksem on arvuline väärtus, seda täpsem on VO_{2max} täpsus uuritava üldkogumi keskmisest.

Tabeleid 5, 6, 7 ja 8 võrreldes tegid Akay ja Abut (2015) järgmised järeldused:

- kõige laialdasemalt kasutatud protokoll meetod VO_{2max} uuringutes on MLR;
- uute tehniliste lahenduste tulemusel saadud meetodid SVM ja MLP, andsid kõrgemad R ja madalamad SEE väärtused;
- MLR meetod andis aga kõige madalamad R ja kõrgemad SEE väärtused, mis viitab sellele, et VO_{2max} näitajal võivad olla mittelineaarsed seosed;

- submaksimaalse koormusega testid annavad parema tulemuse, kui koormuseta testid aga;
- koormuseta testid omakorda parema tulemuse võrreldes maksimaalsel koormusel testidega;
- paljude muutujate kasutamine, ei taga alati kõige täpsemat VO_{2max} väärtust, vastupidiselt saadi kõrgemaid R ja madalamaid SEE väärtusi vähemate muutujatega;
- füsioloogilised muutujad nagu sugu, vanus, pikkus, kaal, KMI on kõige olulisemad muutujad täpse VO_{2max} protokolliga koostamiseks.

Kokkuvõtvalt teeb testide vahel orienteerumise keeruliseks testide, protokollimismeetodite ja spordialade rohkus. Lisaks korraliku juhendmaterjali puudumine, mis aitaks valida alati uuritavatele sobiva testi ja protokolliga ning sellest lähtuvalt ka normatiivid. Mida rohkem on aga erinevaid meetodeid, seda rohkem on ka erinevaid normatiive.

Normatiivide rohkus võib aga pigem tekitada probleeme õige testi valikul just siis kui lapsed jõuavad murdeikka. Kuna murdeeaas toimuvad noore lapse kehas kiired muutused kehaehituses, füsioloogias ja psüühikas. See tähendab, et kõik muutujad, mis on käsitletud ka töös välja toodud koormustestide tabelites 5, 6, 7 ja 8, võivad testitavatel varieeruda väga laias spektris. Võib juhtuda, et samas vanuses lapsed on väga erinevas kaalus, pikkuses või füüsilises konditsioonis. Seda olukorda nimetatakse vanuse relatiivseks efektiks ehk RAE ning üha rohkem on püütud sellele probleemile suunata tähelepanu ka uuringutes lastega.

3. VANUSE RELATIIVNE EFEKT

On täheldatud, et faktor, mis mõjutab tugevalt õpikeskkonda ja sportlaseks kujunemise konteksti, on relatiivne vanus (Schorer et al., 2015). Relatiivne vanus viitab vanuselisele erinevusele sama vanusegrupi indiviidide vahel, mis omakorda tekitab ebavõrdse olukorra indiviidi hindamisel haridusasutuses (Cobley et al., 2009) kui ka sporditalendi märkamisel (Wattie et al., 2008). Neid nähtusi nimetatakse vanuse relatiivseks efektiks (*Relative age effects*) ehk RAE (Barnsley et al., 1985). Vanuse relatiivset efekti seostatakse ka teiste spordimaailma arengu tulemustega jalgpallis (Augste ja Lames, 2011; del Campo et al., 2010; Delorme et al., 2010a, Williams, 2010), käsipallis (Schorer et al., 2009), pesapallis (Thompson et al., 1991), jäähokis (Wattie et al., 2007), rugbyis (Till, 2010) ja ujumises (Baxter-Jones, 1995).

Statistika erinevatelt tegevusvaldkondadelt nagu haridus, epidemioloogia ja sport on täheldatud, et haridus- ja spordisüsteemis laialdaselt kasutusel olev õpilaste jaotamine vanuse gruppidesse, pakub osadele eelise (Wattie et al., 2015), saades parema ligipääsu treeningvahenditele, treenritele ja võistlustele, mis omakorda suurendab tõenäosust jõuda professionaalsele tasemele (Barnsley, 1988) ja teistele takistuse (Wattie et al., 2015), kuna neil puudub juurdepääs ressurssidele, mis võimaldaks järelle aidata küpsemise erinevusi, mis on sportlase arengu algetappidel kõige suuremad (Schorer et al., 2009). Kuigi vanuse relatiivse efekti mõjud võivad vältada kuni täiskasvanu eani, leidsid Musch ja Grondin (2001) ja Cobley et al. (2009), et efekt on suurim siiski just sportlaseks arenemise järgus, kui vanuseline vahe indiviidide vahel samas vanusegrupis on suurim. Sarnasele tulemusele, et indiviidide antropoloogilised erinevused ja küpsuse aste sõltub nende kronoloogilisest vanusest, leidsid ka Hirose (2008), Sherar et al. (2007) ning Till et al. (2010)

Olukorda iseloomustab hästi Kanada jäähoki noorte liiga, kus vanusegrupid eraldatakse 1. jaanuariga, sellisel juhul noorimate (9-aastased) liigas, vahetult peale aasta algust sündinud mängija on pea 10% vanem liiga noorimast mängijast, kes on sündinud septembris. Nende kahe indiviidi kõrvutamisel, tunduks nagu aasta algul sündinud mängija on talendikam, aga suure tõenäosusega tuleneb taseme vahe hoopis ealisest küpsusest, mis on aasta algul sündinud lapsel suurem (Wattie et al., 2015).

Schorer et al. (2015) poolt läbi viidud uuring, mis koosnes kahest osast ja uuriti 49 riigi 1998/99 ja 2008/09 hooaja kõrgema liiga või ka mõne riigi puhul madalamate liigade, kokku 189 411 jalgpallurit. Uuringu esimeses osas otsiti seose suurust relatiivse vanuse efekti ja riigi suuruse vahel, mille tulemusena leiti, et tugev seos puudub Iirimaa, Islandil, Luxembourgil, Maltal,

San Marini, Eestil, Moldaavial, Kasashtanil, Gruusial ja Montenegrol. Teises osas moodustasid valimi 1741 Saksamaa 20 regiooni noorte koondise kandidaadid, vanuses 13-15. Järeldustes jõuti arusaamisele, et mida tihedam on konkurents, seda tugevam on tõenäosus ka vanuse relatiivse efekti esinemiseks valitute seas. Kuigi valdav enamus teadustöödest on keskendunud meessoos ja RAE uurimisele, ei ole RAE puudu ka naiste jalgpallis (Romann ja Fuchslocher, 2011), jõöhokis (Weir et al., 2010), käsipallis (Schorer et al., 2009) ja ujumises (Costa et al., 2013).

Sugude vahelist küpsuse saavutamise erinevust rõhutab veelgi Hancock et al. (2015), kus uuriti naisvõimlejad ning täheldati hoopis vastupidist RAE: rohkem olid esindatud suhteliselt noored naissportlased ja vähem just suhteliselt vanad naissportlased. Nähtust püüti põhjendada sellega, et artistlikud spordialad nagu võimlemine, lõikavad kasu väiksema kasvuga kaasnevast paremast painduvusest ning jõu ja kehakaalu vahekorra (Monsma ja Malina, 2005).

Loffing et al. (2010) leidsid, et RAE puudub vasakukäeliste tennise mängijate seas, samas paremakäeliste hulgas on vanuse relatiivne efekt olemas. Lisaks, olla vasakukäeline, annab taktikalise eelise paremakäelise ees, kuna enamus mängijaid on paremakäelised. Sarnaseid tulemusi sai Schorer et al. (2009) ka Saksamaa käsipallurite seas sõltuvalt platsil mängitavast positsioonist. Seda, et mängija positsioon mõjutab vanuse relatiivse efekti suurust, leidis ka Baker et al. (2010) ning Romann ja Fuchslocher (2011), vastavalt siis, jõöhokis, kus RAE näitaja oli suurem uisutavatel positsioonidel võrreldes väravavahiga ning jalgpallis, kus näitaja oli suurem väravavahtide ning kaitsjate seas.

RAE on vastupidine ülikoolis õppivate noorte seas, kus suhteliselt vanuselt nooremad võivad küll olla alg- ja põhikoolis kehvema õppeedukusega ning mingil määral isegi veel gümnaasiumis, aga kõrgharidust omandades, paistavad suhteliselt vanuselt vanemate seast paremini esile. Põhjendati seda argumendiga, et kohustusliku hariduse omandamise ajal elavad nad vähem sotsiaalelu ning pühendavad rohkem vaba aega õppimisele (Billari ja Pellizzari, 2008).

Beunen et al. (2002) viisid läbi uuringu, kus mõõdeti Saskatooni linna 8-16-aastaste poiste aeroobse võimekuse arengut. Testil osales 73 poissi 207, kes välja valiti, igal aastal oli väljakukkujaid. Tabelist 9 on näha, et VO_{2max} tõuseb vanuse suurenedes märgatavalt, nii samuti ka kehalised parameetrid.

Tabel 9. Pikkus, kehakaal, VO_{2max} 8-16-aastastel poistel (Beunen et al., 2002).

<u>Pikkus (cm)</u>	<u>Kehakaal (kg)</u>	<u>VO_{2max} (L/min)</u>
--------------------	----------------------	---------------------------------------

Vanus (a)	Keskmine	SD	Keskmine	SD	Keskmine	SD
8	127.15	5.62	25.57	3.70	1.45	0.26
9	132.51	5.87	28.53	4.23	1.67	0.24
10	137.83	6.15	31.68	4.99	1.79	0.25
11	142.63	6.59	34.56	5.80	1.93	0.28
12	147.67	7.24	38.19	6.92	2.13	0.30
13	153.77	8.50	42.71	8.45	2.33	0.45
14	160.99	9.13	48.86	9.57	2.69	0.60
15	168.10	8.58	54.93	9.75	2.90	0.58
16	173.17	7.70	60.84	10.18	3.03	0.57

SD – standardhälve.

Antud uurimuses loeti murdeea alguseks 10.6 aastast ja lõpuks 14.3 aastat, vastavalt VO_{2max} näitajad selles vanuses 1.88 L/min ja 2.75 L/min, mis tähendab, et maksimaalne hapnikutarbimine kasvas pea poole võrra, sellest mis ta oli enne murdeiga. Kui võrrelda nüüd 13-aastase ja 14-aastase maksimaalset hapniku tarbimist, siis saame kasvuks 13%, mis on samas vanuserühmas võistlevate poiste puhul üsnagi suur erinevus. See tähendab, et aasta algul sündinud poiss võib olla oma vanusegrupi kaaslasest pea 13% parema sooritusvõimega.

Maksimaalset hapnikutarbimist silmas pidades, loetakse tüdrukutel murdeliseks 9-aastaste vanusegruppi, kus Elham et al. (2013) täheldasid, et 9-aastased hilise puberteedi algusega tüdrukutel oli VO_{2max} oluliselt kõrgem kui varase puberteediga tüdrukutel. Huvitaval kombel selgus tööst ka, et aeroobne võimekus hilise puberteediga 13-aastastel on oluliselt madalam kui 8-aastaste vanusegrupi normaalse ja varajase puberteediga tüdrukutel. Sama teiste vanusegruppide võrdluses ei märgatud.

RAE puhul ei ole puhtalt tegu viimase kahe kümnendi probleemiga, Saksamaa jalgpallis ulatuvad RAE tunnused isegi 1960ndatesse (Cobley et al., 2008), mis tähendab, et Saksamaa üks populaarsemaid ja pikemate traditsioonidega spordialasid peab põhjalikumalt ülevaatama oma jalgpalli arengukavad ja nii samuti tuleks seda teha ka Eesti spordisüsteemis.

4. KOKKUVÕTE

Maksimaalne hapnikutarbimine on suurim hapniku hulk, mida organsim suudab pingelise töö ajal omastada. VO_{2max} näitab indiviidi kardiorespiratoorset võimekust ja on kõige levinum meetod määramaks treeningu mõju organismile. Maksimaalne hapnikutarbimine sõltub soolistest ja ealistest isärasustest, kehalisest aktiivsusest, spordialast, anatoomilis-füsioloogilistest teguritest nagu südame-veresoonkonna ja hingamissüsteemi talituslik seisund, vere hulk ja koostis. VO_{2max} sõltub palju keha massi suurusest – mida suuremat kasvu on inimene, seda suurem on üldiselt ka tema VO_{2max} . Erinevate spordialade esindajatel on erinevad VO_{2max} väärtused ning suurimad suhtelised väärtused on leitud maratoonaritel ja murdmaasuusatajatel.

VO_{2max} loetakse üheks peamiseks eelduseks, et edukalt esineda erinevatel vastupidavusaladel, seepärast on ka tema testimine rutiinne protseduur sportlase kehalise võõvõime määramisel, mida tehakse valdavalt kasvavate koormustega testil, kasutades gaasianalüsaatorit, mis eeldab aga laboratoorseid tingimusi. Levinud on VO_{2max} testid jagada kolmeks: koormustestid, koormuseta testid ja hübriid testid. Koormustestid omakorda jaotatakse veel maksimaalse koormusega ja submaksimaalse koormusega testideks. Maksimaalse hapnikutarbimise testidel saadud tulemuste tõlgendamiseks kasutatakse erinevate normatiividega protokolle, mis on koostatud väikesel valimil täiskasvanutel ja see tähendab, et samade testide kasutamisel laste ja noortega saadud tulemused on kaheldava väärtusega. Kasutatavad normatiivid sõltuvad ka protokollist ning tihti ka uuringut läbiviivast personalist. Suurimaks kitsaskohaks VO_{2max} testide puhul on korraliku juhendmaterjali puudumine, millal ja mis tingimustel, missugust testi kasutada.

Peale pikkuse, kehakaalu ja füüsilise vormi on väga olulised näitajad VO_{2max} uurimisel ka vanus ja sugu, mis mõjutavad hapnikutarbimise parameetreid. Puberteedieas erineb poiste ja tüdrukute areng nii vaimselt kui füüsiliste näitajate poolest teineteisest oluliselt. Lisaks sellele võib areng erineda ka sama aastanumbri sees sündinud poistel ja tüdrukutel. Puberteet võib alata mõnel lapsel varem, teisel hiljem. Relatiivne vanus viitab vanuselisele erinevusele sama vanusegrupi indiviidide vahel, sellest sõltuvalt võivad erineda ka nende füüsiline kui ka vaimne võimekus. Mis omakorda tekitab laste valikul treening- või õpigruppidesse ebavõrdse olukorra, kus suhteliselt vanemad lapsed võivad tunduda talendikamad ning saada seeläbi ligipääsu oluliselt parematele treening- või õpitingimustele. Vanuse relatiivset efekti on täheldatud nii spordis kui ka haridusasutustest. Vanuse relatiivne efekt (RAE) ei pea olema ainult eelistusega suhteliselt vanemate laste suunas vaid ka vastupidine. Näiteks artistlikel aladel, kus on oluline

paindumus ja hea jõu ning kehakaalu vahetõrge nagu võimelmisel oli suhteliselt vanuselt nooremate tüdrukute ülekaal. Suhteliselt vanuselt nooremate esile kerkimist täheldati ka Bocconi Ülikooli õpilaste seas, kus nooremad paistsid silma parema õppeedukusega.

Vanuse relatiivne efekt on tekitanud küsimuse, kas praegune vanusegruppidesse jaotamine haridus- ja spordisüsteemis tagab kõigile võrdsed alused. Läbitöötatud materjalidele toetudes, peab tõdema, et kui probleemiga ei tegeleta võib see veelgi süveneda, hea näide on Saksamaa jalgpall, kus RAE tunnused ulatuvad kuni 1960ndatesse. Kõige lihtsam ja vähim kulutusi nõudev lahendus oleks hakata vanusegruppe koostama 6 kuu kaupa, mis oluliselt vähendaks vanuse relatiivset efekti. Probleem võib aga tekkida väikestes koolides, kus laste arv pole piisav. Teine lahendus oleks iga semester või poolaasta ümber sõnastada kui klassiks. Kahjuks mõlema lahenduse miinuseks oleks väiksemad klassid ja seega vajadus rohkemate õpetajate järgi, mis omalt poolt tõstaks riigi kulutusi.

Sarnast probleemi võib täheldada ka spordiklubide ning spordikoolide puhul. Tekkida võib rahaliste vahendite nappus või lapse treeningmaksude liialt äkiline suurenemine, mis omakorda võib viia lapse trennist kadumisele, kuna lapsevanemad ei suuda seda lubada. Kui tekitada rohkem vanusegruppe, kus lapsed võistleksid, tekib tahtmatult ka treeninggruppe rohkem. See aga ei tähenda, et treeningutel oleks rohkem lapsi, vaid grupid oleksid väiksemad. Peale selle, et treenerite arv peab kasvama, on vaja rohkem aegu, väljakuid ja vahendeid treeninguteks, kuna samaaegselt ei saa üks treener läbi viia mitmele grupile treeningut samade vahenditega, samal väljakul, sellel samal lihtsalt põhjusel, et lapsed ei saaks sellisel juhul piisavalt tähelepanu ja see omakorda raskendaks treeneritööd üldises plaanis. Seega väheneb ka võimalus, märgata ja tegeleda nende lastega, kes tõsiselt naudivad sportilikku tegevust ja neil on ka head eeldused ehk valitud alal läbilüüa.

KIRJANDUS

1. Abut F, Akay MF. Machine learning and statistical methods for the prediction of maximal oxygen uptake: recent advances. *Med Devices: Evidence and Research* 2015; 8:369-379.
2. Acikkar M, Akay MF, George JD, Delil M, Aktürk E. Artificial neural network models for predicting maximum oxygen uptake from submaximal exercise involving walking, jogging or running. In: *International Symposium on Electrical and Electronics Engineering and Computer Systems*. Lefka, North Cyprus; European University of Lefke. 2012, 17-21.
3. Akay MF, Ghahremanlou NS, Aktürk E, George JD, Aktaria E. Performance comparison of different regression methods for VO_{2max} prediction. In: *7th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering and Computer Systems*. Lefka, North Cyprus; European University of Lefke. 2012, 7-11.
4. Augste C, Lames M. The relative age effect and success in German elite U-17 soccer teams. *J Sports Sci*. 2011; 29(9):983-987.
5. Baker J, Cobley S, Montelpare WJ, Wattie N, Faught BE. Exploring proposed mechanisms of the relative age effect in Canadian minor hockey. *Int J Sport Psychol*. 2010; 41:148-159.
6. Bandyopadhyay A. Validity of 20 meter multi-stage shuttle run test for estimation of maximum oxygen uptake in male univeristy students. *Indian J of Physiol Pharmacol*. 2011; 55(3):221-226.
7. Bandyopadhyay A. Validity of Cooper's 12-minute run test for estimation of maximum oxygen uptake in male university students. *Biol Sport*. 2015; 32:59-63.
8. Barnsley RH, Thompson AH, Barnsley PE. Hockey success and birthdate: the RAE. *Can Assoc Health Phys Educ Recreation J*. 1985; 51:23-28.
9. Barnsley RH, Thompson AH. Birthdate and success in minor hockey: the key to the NHL. *Can J Behav Sci*. 1988; 20:167-176.
10. Basset FA, Boulay MR. Specificity of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. *Eur J of Appl Physiol*. 2000; 81:214-221.
11. Baxter-Jones A. Growth and development of young athletes. Should competition levels be age related? *Sports Med*. 1995; 20:59-64.
12. Beunen G, Baxter-Jones ADG, Mirwald RL, Thomis M, Lefevre J, et al. Intraindividual allometric development of aerobic power in 8- to 16-year-old boys. *Med Sci Sports Exerc*. 2002; 34(3):503-510.

13. Billari FC, Pellizzari M. The Younger, the Better? Relative Age Effects at University. Discussion Paper. Milano. Bocconi University. 2008.
14. Billat VL, Demarle A, Slawinski J, Paiva M, Koralsztein JP. Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2001; 12:2089-2097.
15. Bradshaw DI. An Accurate VO_{2max} Non-exercise Regression Model for 18 to 65 Year Old Adults. Master of Science. Provo. Brigham Young University. 2003.
16. Cao Z-B, Miyatake N, Aoyama T, Higuchi M, Tabata I. Prediction of maximal oxygen uptake from a 3-minute walk based on gender, age and body composition. *J Phys Act Health.* 2013; 10(2):280-287.
17. Chatterjee P, Banerjee AK, Das P, Debnath P. A regression equation for the estimation of maximum oxygen uptake in Nepalese adult females. *Asian J Sports Med.* 2010; 1(1):41-45.
18. Chatterjee S, Chatterjee P, Bandyopadhyay A. Prediction of maximal oxygen consumption from body mass, height and body surface area in young sedentary subjects. *Indian J Physiol Pharmacol.* 2006; 50(2):181-186.
19. Cogley S, Baker J, Wattie N, McKenna J. How pervasive are relative age effects in secondary school education? *J Educ Psychol.* 2009; 101:520-528.
20. Cogley S, Schorer J, Baker J. Relative age effects in professional German soccer: a historical analysis. *J Sports Sci.* 2008; 26:1531-1538.
21. Costa AM, Marques MC, Louro H, Ferreira SS, Marinho DA. The relative age effect among elite youth competitive swimmers. *Eur J Sport Sci.* 2013; 13:437-444.
22. del Campo DGD, Vicedo JCP, Villora SG, Jordan ORC. Relative age effect in youth soccer players from Spain. *J Sports Sci Med.* 2010; 9(2):190-198.
23. Delorme N, Boiche J, Raspaud M. Relative age and dropout in French male soccer. *J Sports Sci.* 2010a; 28(7):717-722.
24. Elham A, Zahra, NR, Nahid S. Effect of growth level on changing pattern of cardio-respiratory fitness index (VO_{peak}) in 8 to 14 year old non-athletic girls. *Euro J Exp Bio.* 2013; 3(2):86-93.
25. Evans HJL, Ferrar KE, Smith AE, Parfitt G, Eston RG. A systemic review of methods to predict maximal oxygen uptake from submaximal, open circuit spirometry in healthy adults. *J Sports Sci Med.* 2015; 18(2):183-188.
26. Grant S, Corbett K, Amjad AM, Wilson J, Aitchison T. A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *Br J Sport Med* 1995; 29(3):147-152.

27. Hagan RD, Smith MG, Gettman LR. Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices. *Med Sci Sports Exerc.* 1981; 13:185-189.
28. Hancock DJ, Starkes JL, Ste-Marie DM. The relative age effect in female gymnastics: a flip-flop phenomenon. *Int J Sport Psych.* 2015; 46(6):714-725.
29. Harro M. Laste ja noorukite kehalise aktiivsuse ning kehalise võimekuse mõõtmise käsiraamat. Tartu. Tartu Ülikooli Kirjastus. 2001.
30. Hirose N. Relationships among birth-month distribution, skeletal age and anthropometric characteristics in adolescent elite soccer players. *J Sports Sci.* 2008; 26(10):995-1003.
31. Jürimäe J., Mäestu J. Treeninguõpetus. Tartu. Tartu Ülikooli Kirjastus. 2011.
32. Kalish, S. Your Child's Fitness. Practical Advice for Parents. Champaign, Illinois. Human Kinetics Publishers. 1996.
33. Lepers R, Rüst AC, Stapley PJ, Knechtle B. Relative improvements in endurance performance with age: evidence from 25 years of Hawaii Ironman racing. *AEG.* 2013; 35:953-962.
34. Loffing F, Schorer J, Cogley SP. Relative age effects are a developmental problem in tennis: but not necessarily when you're left-handed! *High Abil Stud.* 2010; 21:19-25.
35. Monsma EV, Malina RM. Anthropometry and somatotype of competitive female figure skaters 11-22 years: variation by competitive level and discipline. *J Sport Med Phys Fit.* 2005; 45:491-500.
36. Musch J, Grondin S. Unequal competition as an impediment to personal development: a review of the relative age effect in sport. *Dev Rev.* 2001; 21:147-167.
37. Nikolaidis PT. Can maximal aerobic running speed be predicted from submaximal cycle ergometry in soccer players? The effects of age, anthropometry and positional roles. *Adv Biomed Res.* 2015; 4:226.
38. Noonan V, Dean E. Submaximal exercise testing: clinical application and interpretation. *Phy Ther* 2000; 80(8):782-807.
39. Nõmmiste T. Uurimus laste arengu iseärasustest puberteedieelsel perioodil. Bakalaureusetöö. Tartu: Tartu Ülikooli kehakultuuriteaduskond, 1996.
40. Rankinen T, Bray M, Hagberg J, Perusse L, Roth S, et al. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2005 update. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38:1863-1888.
41. Romann M, Fuchslocher J. Influences of the selection level, age, and playing position on relative age effects at women's soccer. *Talent Dev Excellence.* 2011; 3:239-247.

42. Rowland TW. Exercise Science and the Child Athlete. In: Garrett WE, Jr., Kirkendall DT. Exercise and Sport Science. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 2005, 339-349.
43. Schneider J. Age Dependency of Oxygen Uptake and Related Parameters in Exercise Testing: An Expert Opinion on Reference Values Suitable for Adults. *Lung*. 2013; 191:449-458.
44. Schorer J, Cobley S, Bräutigam H, Loffing F, Hütter S, et al. Developmental contexts, depth of competition and relative age effects in sport: A database analysis and a quasi-experiment. *Psychological Test and Assessment Modeling*. 2015; 57(1):126-143.
45. Schorer J, Cobley S, Büsch D, Bräutigam H, Baker J. Influences of competition level, gender, player nationality, career stage and playing position on relative age effects. *Scand J Med Sci Sports*. 2009; 19(5):720-730.
46. Sherar LB, Baxter-Jones ADG, Faulkner RA, Russell KW. Do physical maturity and birth date predict talent in male youth ice hockey players? *J Sports Sci*. 2007; 25(8):879-886.
47. Silva G, Oliveira NL, Aires L, Mota J, Oliveira J, et al. Calculation and validation of models for estimating VO_{2max} from the 20-m shuttle run test in children and adolescents. *Arch Exerc Health Dis*. 2012; 3(1-2):145-152.
48. Tancredi G, Lambiase G, Favoriti A, Ricupito F, Paoli S, et al. Cardiorespiratory fitness and sports activities in children and adolescents with solitary functioning kidney. *Ital J Pediatr*. 2016; 42:43.
49. Thompson AH, Barnsley RH, Stebelsky G. Born to Play Ball – the Relative Age Effect and Major-League Baseball. *Sociol Sport J*. 1991; 8:146-151.
50. Till K, Cobley S, Wattie N, O'Hara J, Cooke C, et al. The prevalence, influential factors and mechanisms of relative age effects in UK rugby league. *Scand J Med Sci Sport*. 2010; 20:320-329.
51. Wattie N, Baker J, Cobley S, Montelpare WJ. A historical examination of relative age effects in Canadian hockey players. *Int J Sport Psychol*. 2007; 38:178-186.
52. Wattie N, Cobley S, Baker J. Toward a unified understanding of relative age effects. *J Sports Sci*. 2008; 26:1403-1409.
53. Wattie N, Schorer J, Baker J. The Relative Age Effect in Sport: A Developmental Systems Model. *Sports Med*. 2015; 45:83-94.
54. Weineck J., Jalak R. Kehalised võimed ja organism. *Sunprint Invest*. 2008.
55. Weir PL, Smith KL, Paterson C, Horton S. Canadian women's ice hockey: evidence of relative age effect. *Talent Dev Excellence*. 2010; 2:209-217.

56. Williams JH. Relative age effect in youth soccer: Analysis of the FIFA U17 World Cup competition. *Scand J Med Sci Sports*. 2010; 20(3):502-508.
57. Wilmore JH, Costill DL. *Physiology of Sport and Exercise*: 3rd Edition. Champaign, Illinois. Human Kinetics Publishers. 2005.

SUMMARY

Maximal oxygen uptake and it's changes on 13-15 year old children

The purpose of this study was to examine VO₂max prediction models and analyse the Relative Age Effect in sports.

Maximal oxygen uptake (VO₂max) defined as the highest rate at which the body can transport and utilise oxygen during exercise, is widely accepted as a criterion measure of cardiorespiratory fitness. However, direct assessment of the VO₂max requires exercise to volitional exhaustion, which is not always advisable for children. The tests are divided to exercise, non-exercised based and hybrid tests. Furthermore exercise based tests are divided to maximal effort and submaximal effort tests. Non-exercise based tests rely on questionnaires' (PFA, PAR, AC) and the honesty of the tested. Maximal effort tests require a very high level of motivation. For the same reason a wide variety of submaximal testing protocols have been developed to reduce risk, testing time, costs and the reliance on participant motivation associated with more strenuous, exhaustive exercise. Hybrid tests combine both exercised and non-exercise based tests.

Relative age effects (RAEs) refer to differences among individuals in age-based cohorts typically used in sport and also in education systems. These effects usually favour relatively older members of the cohort and are thought to result from differences in maturation and experience among athletes of different chronological age. The relative age effects in German soccer date back to 1960s. There is no RAEs observed between left- and right-handed tennis players, although being left-handed might give a slight tactical advantage. The same was found for handball players and in ice hockey. Opposed-wised relative age effect was found in woman gymnastics, where relatively younger girls were dominating.

Mina, Kaimar Lomp

Sünnikuupäev: 18.04.1987

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Maksimaalne hapnikutarbimine ja selle muutused 13-15-aastastel lastel,

mille juhendaja on Priit Purge

- 1.1 reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni
- 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
- 2 Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles autorile.
- 3 Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus/Tallinnas/Narvas/Pärnus/Viljandis ,